บทที่ 4
ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความเข้มสนามไฟฟ้าและก๊าซตัวพา ซึ่งในที่นี้คือก๊าซเฉื่อยอาร์กอนต่อคุณสมบัติทางเคมีและจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เนยและไส้กรอก โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามไฟฟ้า (4 KV และ 8 KV) เวลา (นาที) และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (Ar) ต่อคุณสมบัติทางเคมี(ปริมาณโปรตีน ไขมัน และความชื้น) คุณสมบัติทางกายภาพ(ค่าเนื้อสัมผัสและค่าสี) และอัตราการเหลือรอดของเชื้อ *Salmonella* spp. , *Staphylococcus aureus,* และ *E.coli* ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก และผลต่อคุณสมบัติทางเคมี(ปริมาณไขมัน เถ้าและความชื้น) คุณสมบัติทางกายภาพ (ค่าเนื้อสัมผัสและค่าสี) และอัตราการเหลือรอดของราในผลิตภัณฑ์เนย

หลังจากเข้ากระบวนการโกลดิสชาร์จ(Glow Discharge) ด้วยความเข้มสนามไฟฟ้า เวลา และความดันของก๊าซอาร์กอนที่แตกต่างกัน และนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Response Surface Method โดยวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการ คือ ระดับความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซอาร์กอน(mbar) และเวลา (min) ให้มีค่า N/N_0ของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดต่ำที่สุด นำมาประมวลผลทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab วางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken 3 continuous factor มีรายละเอียดของตัวแปรต้นที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการศึกษานี้

Independent variable	Code	Coded variable		
		-1	0	+1
Voltage(KV)	X_1	0	4	8
Ar(mbar)	X_2	0	0.15	0.30
Time(min)	X_3	2	5	8

จากตารางที่ 4.1 ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า อัตราการไหลก๊าซอาร์กอน และเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ โดยความเข้มสนามไฟฟ้าศึกษาที่สามระดับ คือ 0 , 4 และ 8 KV อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนศึกษาที่ระดับ 0 , 0.015 และ 0.030 mbar เวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ คือ 2 , 5 และ 8 นาที วางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken ได้จำนวน 15 สิ่งทดลอง ทำการทดลองที่จุดกึ่งกลางจำนวน 3 ซ้ำ จากผลการทดลอง พบว่า ค่า N/N_0 มีค่า อยู่ในช่วง 0.07 - 1.00 และนำผลการวิเคราะห์มาหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ต้องการศึกษากับค่าการตอบสนองของปัจจัย วิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองการถดถอยที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 โดยพิจารณาจากค่า p-value ($p<0.5$) lack of fit ($p\geq0.05$) ในขณะที่ค่า R^2 มีค่าสูงสุด

ผลของกระบวนการโกลดิสชาร์จต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

นำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (chemical Properties) คือ ปริมาณโปรตีน ไขมันและความชื้น และคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) คือ ค่าสี(L*,a*,b*) ค่าแรง (Force) และค่าความแข็ง (Hardness) ของเนื้อสัมผัส ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีของไส้กรอก

	ค่าทางเคมี
โปรตีน(%)	24.60±0.92
ไขมัน(%)	3.93±1.72
ความชื้น(%)	63.61±0.78
Force(g)	6932.93±279.80
Hardness(g)	5118.59±264.88
L*	52.27±2.55
a*	9.13±0.57
b*	19.37±5.99

จากตารางที่ 4.2 ไส้กรอกก่อนเข้ากระบวนการโกลดิสชาร์จมีคุณสมบัติทางเคมี ดังนี้ ปริมาณโปรตีนร้อยละ 24.60±0.92 ไขมันร้อยละ 3.93±1.72 และความชื้นร้อยละ 62.61±0.08 คุณสมบัติทางกายภาพ ค่าแรง (Force) เท่ากับ 6932.93±279.80 g และค่าความแข็ง (Hardness) เท่ากับ 5118.59±264.88 g ส่วนค่าสี L* เท่ากับ 52.27±2.55 a* เท่ากับ 9.17±0.57 และ b* เท่ากับ 19.37±5.99 หลังจากนั้นนำไส้กรอกเข้ากระบวนการโกลดิสชาร์จตามสภาวะที่มีการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken ด้วยโปรแกรม Minitab คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า 0-8 KV , อัตราการไหลของก๊าซตัวพา 0 - 0.030 mbar และเวลาในระบบโกลดิสชาร์จ 2-8 นาที ได้จำนวน 15 สิ่งทดลอง โดยมีสภาวะการทดลองตามตารางที่ 4.3 และได้คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไส้กรอกรที่ผ่านกระบวนการโกลดิสชาร์จในสภาวะต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ปริมาณโปรตีนและไขมันของไส้กรอกที่ผ่านกระบวนการโกลดิสชาร์จจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเข้ากระบวนการโกลดิสชาร์จ ทั้งนี้ความแตกต่างของค่าทางเคมีที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกเป็นปัจจัยสำคัญ ส่วนคุณสมบัติทางเคมี คือ ความชื้น จะมีการลดลงเพียงเล็กน้อยจากการผ่านของก๊าซตัวพา (อาร์กอน) เนื่องจากการสูญเสียความชื้นที่พื้นผิวไส้กรอกซึ่งมีผลน้อยมากต่อความชื้นโดยรวมของไส้กรอก สอดคล้องกับคุณสมบัติทางกายภาพและลักษณะปรากฏทางกายภาพของไส้กรอก คือ ค่าสี (L*,a*,b*)(L*=51.14-52.89, a*=9.73-10.03, b*=18.57-21.35) และค่าแรง (Force) และความแข็ง(Hardness) ของไส้กรอกที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อเทียบกับคุณสมบัติของไส้กรอกก่อนเข้ากระบวนการโกลดิสชาร์จ

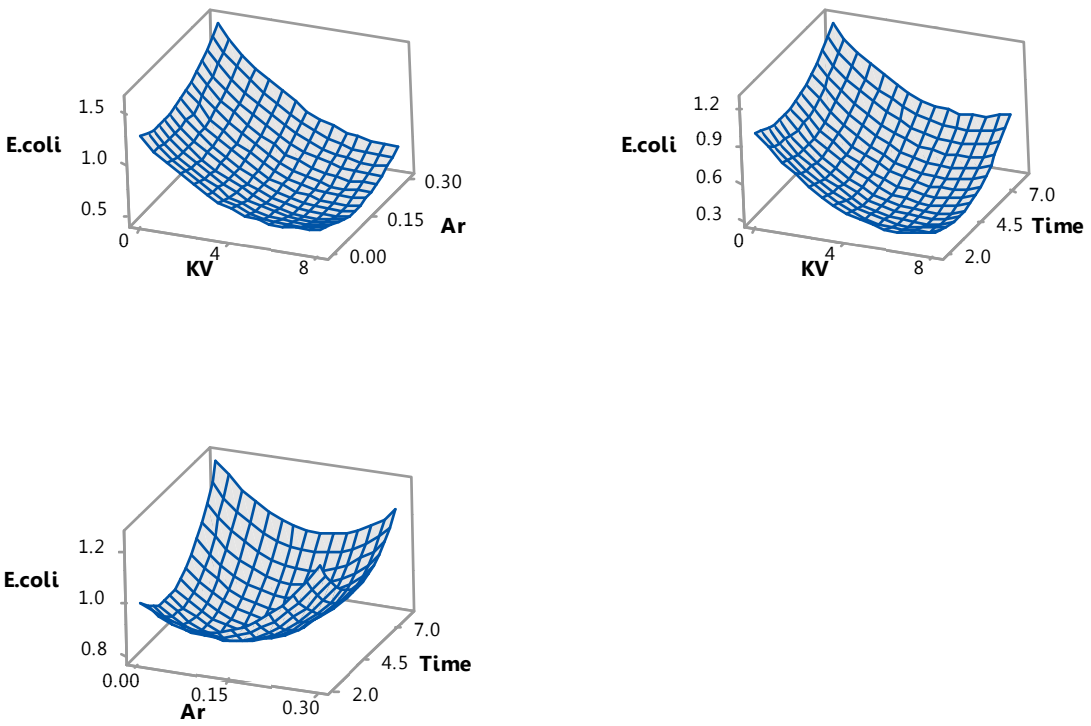
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่ผ่านกระบวนการโกลดิสชาร์จ

Run order	Std Order	Voltage (KV)	Ar (mbar)	เวลา (นาที)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	ความชื้น (%)	Force (g)	Hardness (g)	L*	a*	b*
1	15	4	0.15	5	24.2374	3.1430	66.3829	4298.048	4104.918	52.51	9.84	19.02
2	6	8	0.15	2	24.2205	3.2625	66.0543	5905.465	5957.315	51.21	10.01	21.02
3	11	4	0.00	8	24.4724	4.2843	66.0526	7688.029	4497.454	51.14	10.03	21.35
4	7	0	0.15	8	24.1244	3.4272	65.9828	3272.273	3216.247	52.28	9.94	19.87
5	3	0	0.30	5	24.1748	4.6749	65.5715	6716.523	5555.927	52.49	9.90	19.64
6	8	8	0.15	8	24.3773	4.8507	65.7838	7465.284	4802.776	52.20	9.91	19.99
7	14	4	0.15	5	24.2592	2.2499	65.7973	5128.371	4216.550	52.92	9.73	18.91
8	1	0	0.00	5	23.8758	2.4621	64.5600	8754.576	7874.205	52.89	9.73	19.05
9	4	8	0.30	5	24.0030	2.8250	64.8725	3949.501	3624.279	52.70	9.78	18.88
10	5	0	0.15	2	24.0862	2.3788	65.8349	7783.935	5844.522	52.20	9.75	18.70
11	10	4	0.30	2	24.1440	2.9887	66.3958	5159.541	4664.041	51.68	9.68	18.85
12	9	4	0.00	2	24.4126	2.9438	66.3027	5375.499	4385.182	52.30	9.70	19.29
13	12	4	0.30	8	24.2277	2.2409	65.6235	7632.818	5472.946	52.14	9.66	19.50
14	13	4	0.15	5	24.3555	2.6556	66.3255	5915.557	3410.043	52.51	9.73	18.57
15	2	8	0.00	5	24.2592	2.6621	66.2188	9109.692	4229.692	52.07	9.80	19.21

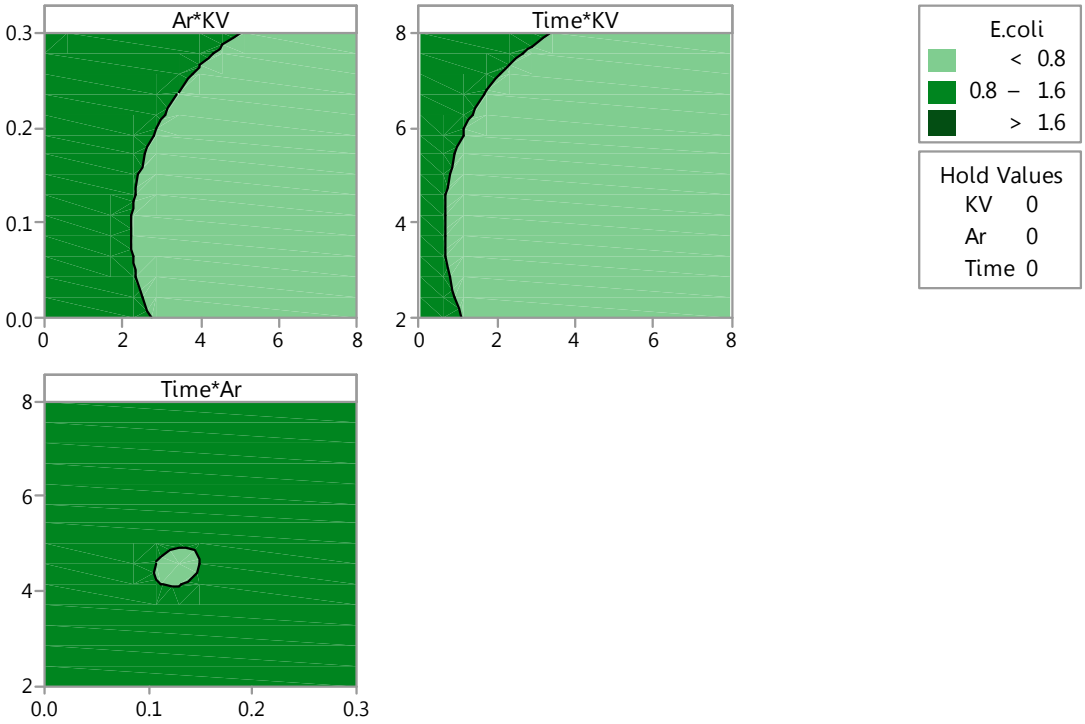
ตารางที่ 4.4 การทดสอบทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่ผ่านกระบวนการโกลดิสชาร์จ(N/N_0)

Run order	Std Order	Voltage (KV)	Ar (mbar)	เวลา (นาที)	*E.coli*	*S.aureus*	*Samonella*
1	15	4	0.15	5	0.20	0.66	0.61
2	6	8	0.15	2	0.27	0.36	0.23
3	11	4	0.00	8	0.75	0.98	0.96
4	7	0	0.15	8	0.98	0.95	0.95
5	3	0	0.30	5	0.96	0.98	0.96
6	8	8	0.15	8	0.34	0.38	0.18
7	14	4	0.15	5	0.26	0.62	0.30
8	1	0	0.00	5	1.00	1.00	1.00
9	4	8	0.30	5	0.13	0.78	0.07
10	5	0	0.15	2	1.00	0.96	0.98
11	10	4	0.30	2	0.56	0.75	0.33
12	9	4	0.00	2	0.33	0.43	0.99
13	12	4	0.30	8	0.64	0.56	0.25
14	13	4	0.15	5	0.16	0.58	0.42
15	2	8	0.00	5	0.46	1.00	0.85

จากตารางที่ 4.4 แสดงคุณสมบัติทาง *E.coli* , *S.aureus* และ *Salmonella* ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่ผ่านกระบวนการโกลดิสชาร์จ(N/N_0) พบว่า พลาสมาที่เกิดจากกระบวนการโกลดิสชาร์จมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ทั้งประเภทแกรมบวกและแกรมลบ โดยปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า ความดันของก๊าซอาร์กอน และเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ มีผลต่อประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ แต่ทั้งนี้จำเป็นที่จะต้องมีการใช้ร่วมกันระหว่างความเข้มสนามไฟฟ้าและก๊าซตัวพาที่จะทำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยพลาสมาจะมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์แกรมลบมากกว่าเชื้อจุลินทรีย์แกรมบวก



ภาพที่ 4.1 พื้นผิวตอบสนองของ E.coli จากปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา(Ar) และเวลา(Time)



ภาพที่ 4.2 เส้นแสดงรูปทรงของ *E.coli* จากปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา(Ar) และเวลา(Time)

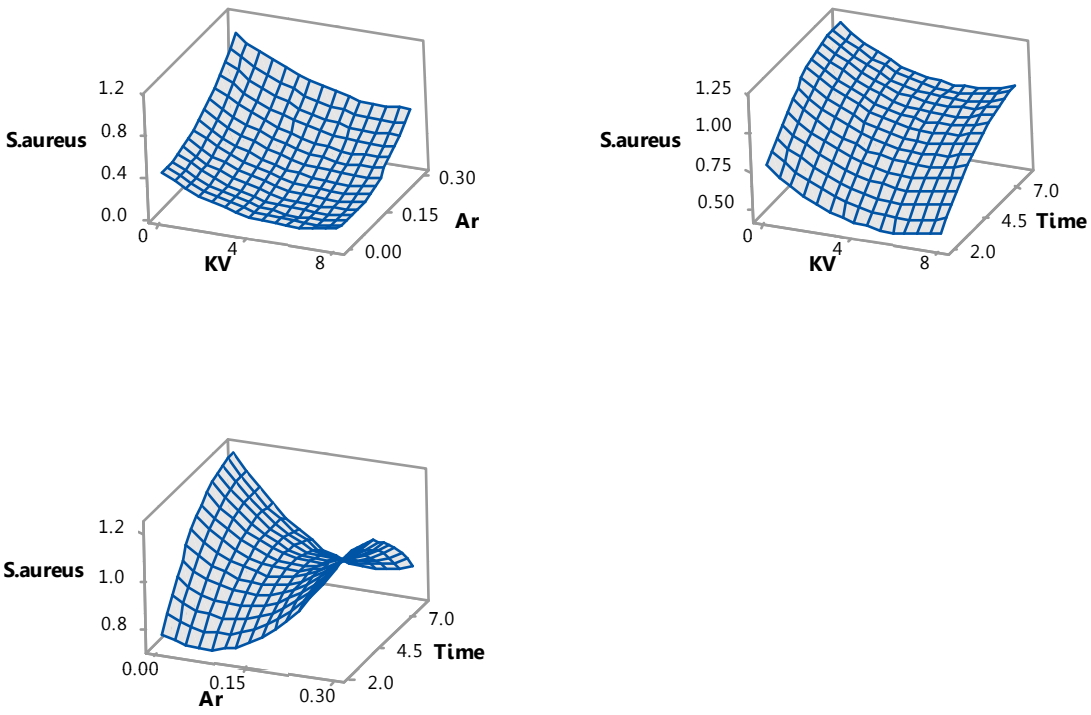
จากการทดสอบทางจุลินทรีย์ *E.coli* บนไส้กรอกตามภาพที่ 4.1 และ 4.2 แสดงภาพพื้นผิวตอบสนองของอัตราการเหลือรอดของ *E.coli* จากผลของปัจจัยความเข้มสนามไฟฟ้า (KV) ความดันก๊าซอาร์กอน (Ar) และเวลา (Time) จึงสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า (KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา (Ar) และเวลา (Time) ต่ออัตราการเหลือรอดของเชื้อ *E.coli* เป็นสมการการถดถอยได้ดังแสดงในสมการ (1)

E.coli = 1.239 - 0.2040KV – 1.14 Ar – 0.1637 Time + 0.01589 KV*KV + 7.85 Ar*Ar
+ 0.02074 Time*Time – 0.1208 KV*Ar + 0.00188 KV*Time – 0.189 Ar*Time ..... (1)

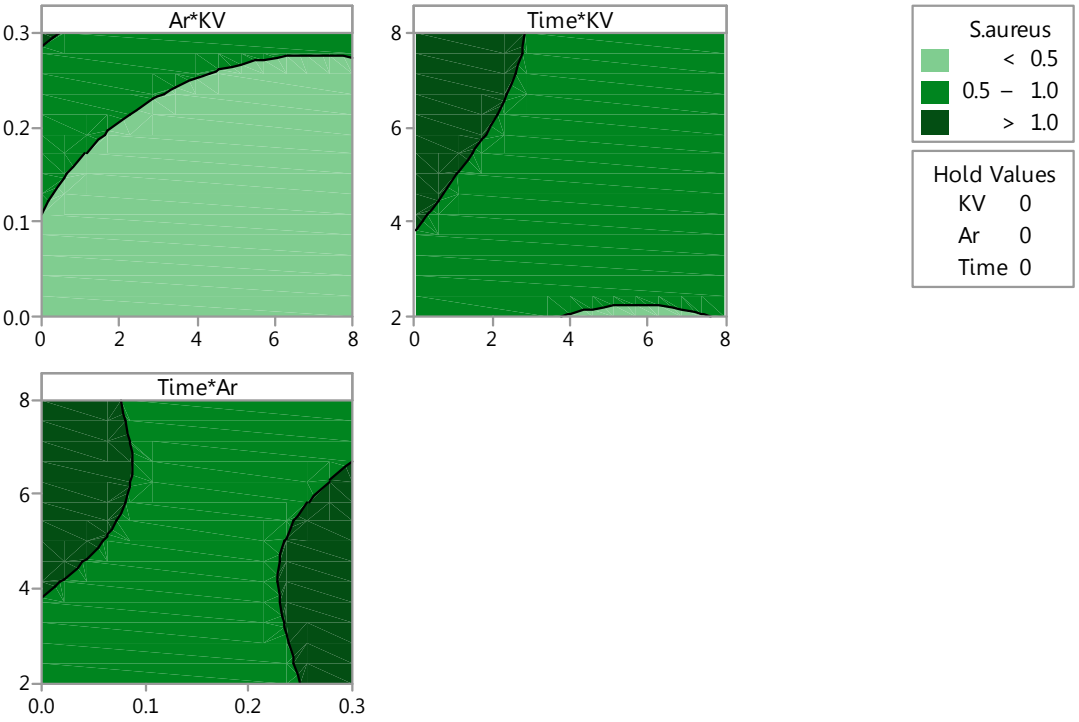
R^2 = 96.02

จากสมการที่ (1) ค่าสัมประสิทธิ์ของก๊าซตัวพา(Ar) ต่อเชื้อจุลินทรีย์ *E.coli* ตามวัตถุประสงค์ที่ 3 มีค่ามากที่สุด คือ -1.14 แสดงให้เห็นว่าก๊าซอาร์กอนเป็นปัจจัยที่ส่งผลในการลดต่ออัตราการเหลือรอดของเชื้อ *E.coli* มากที่สุด ส่วนปัจจัยจากความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการลดอัตราการเหลือรอดของเชื้อ *E.coli* มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -0.2040 ความสัมพันธ์ของปัจจัยร่วมระหว่างความดันก๊าซอาร์กอน(Ar) และความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) เป็นปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่ออัตราการลดลงของเชื้อ *E.coli* คือมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -0.1208 และอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันของก๊าซอาร์กอนก็มีผลอย่างมากต่ออัตราการเหลือรอดของเชื้อ *E.coli* (ค่าสัมประสิทธิ์ Ar*Ar เท่ากับ 7.85)

สภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการกำหนดเงื่อนไขการทดลองโดยการใช้โปรแกรม minitab version 17 พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า 6.8687 KV เวลาในสนามไฟฟ้า 4.4242 นาที อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 0.1788 mbar ซึ่งสามารถทำให้อัตราการเหลือรอดของ *E.coli* ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.0760 อย่างไรก็ตามการแตก/การรั่วไหลของเซลจะเกิดขึ้นกับ E.coli เท่านั้น เนื่องจากผนังเซลประกอบด้วยไขมันปริมาณมาก จากปฏิกิริยาไลปิดออกซิเดชั่นจึงทำให้เกิดไลปิดโพลีแซคคาไรด์ซึ่งเป็นผลจากการแตกของเซล (Laroussi et al., 2003). หากองค์ประกอบของผนังเซลมีความแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดเซลก็อาจจะได้เปปติโดไกลแคนก็ได้



ภาพที่ 4.3 พื้นผิวตอบสนองของ *S.aureus* จากปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา(Ar) และเวลา(Time)



ภาพที่ 4.4 เส้นแสดงรูปทรงของ *S.aureus* จากปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา(Ar) และเวลา(Time)

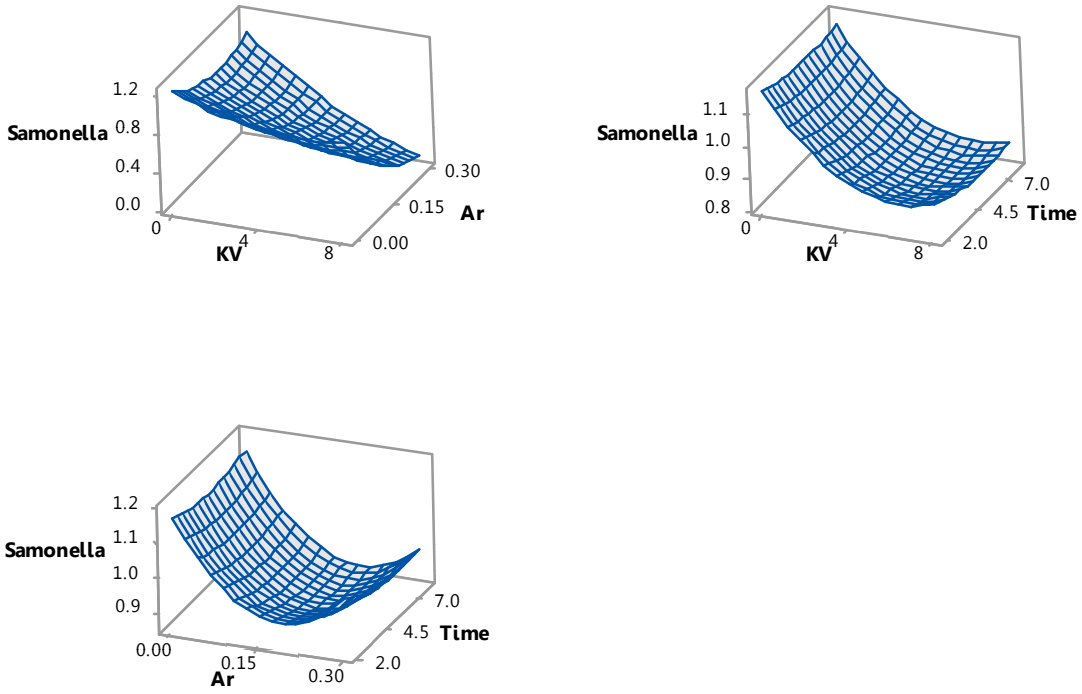
จากภาพที่ 4.3 และ 4.4 แสดงภาพพื้นผิวตอบสนองของอัตราการเหลือรอดของ *S.aureus* จากผลของปัจจัยความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) ความดันของก๊าซอาร์กอน(Ar) และเวลา(Time) จึงสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา(Ar) และเวลา(Time) ต่ออัตราการเหลือรอดของเชื้อ S.aureus เป็นสมการการถดถอยได้ดังแสดงในสมการ (2)

S.aureus = 0.429 - 0.1091 KV – 0.14 Ar + 0.195 Time + 0.00945 KV*KV+ 7.50 Ar*Ar
- 0.01208 Time*Time - 0.083 KV*Ar + 0.00062 KV*Time – 0.4111 Ar*Time ..... (2)

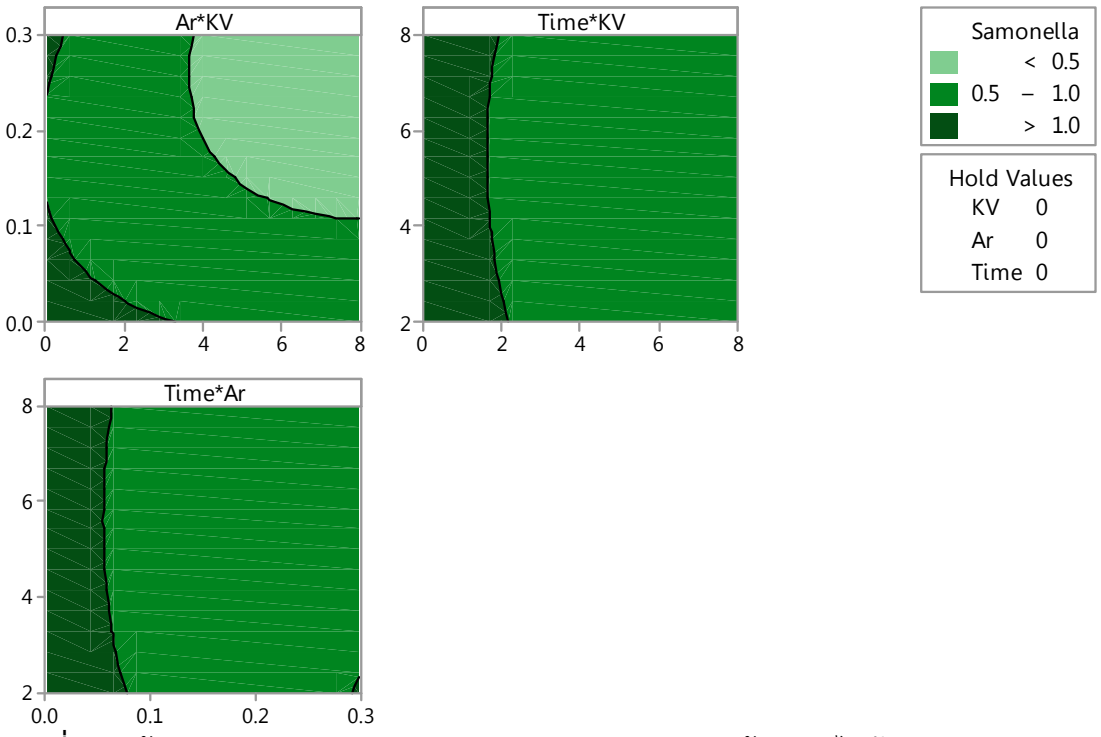
R^2 = 82.52

จากสมการที่ (2) ค่าสัมประสิทธิ์ของก๊าซตัวพา (Ar) ต่อเชื้อจุลินทรีย์ *S.aureus* ตามวัตถุประสงค์ที่ 3 มีค่ามากที่สุด คือ -0.14 แสดงให้เห็นว่าก๊าซอาร์กอนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการเหลือรอดของเชื้อ *S.aureus* มากที่สุด ส่วนปัจจัยจากความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการลดอัตราการเหลือรอดของเชื้อ *S.aureus* มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -0.1091 ความสัมพันธ์ของปัจจัยร่วมระหว่างอัตราการไหลของก๊าซตัวพา(Ar) และความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) เป็นปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่ออัตราการลดลงของเชื้อ *S.aureus* คือมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -0.083 และอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันของก๊าซอาร์กอนก็มีผลอย่างมากต่ออัตราการเหลือรอดของเชื้อ *E.coli*(ค่าสัมประสิทธิ์ Ar*Ar เท่ากับ 7.50) แต่สำหรับเชื้อจุลินทรีย์แกรมบวกจะไม่เกิดการแตกของเซลแต่จะเกิดการยืดหดของเซลจนทำให้เชื้อจุลินทรีย์แกรมบวกเสียสภาพได้ (Cullen et al.,2014)

สภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการกำหนดเงื่อนไขการทดลองโดยการใช้โปรแกรม minitab version 17 พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า 6.1414 KV เวลาในสนามไฟฟ้า 2 นาที อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 0.1 mbar ซึ่งสามารถทำให้อัตราการเหลือรอดของ *S.aureus* ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.3928 ซึ่งแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลของ *S.aureus* คือ 1.00 V (Barbosa-canovas, et al., 1998) สอดคล้องกับความหนาผนังเซลของแบคทีเรียแกรมบวกที่จะมากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ ผนังเซลแบคทีเรียแกรมลบจะเป็นแผ่นบางประกอบด้วย peptidoglycan และ lipopolysaccharide. เมื่อได้รับพลาสมาจากกระบวนการโกลดิสชาร์จจะทำปฏิกิริยากับ peptidoglycan และ lipopolysaccharide จะเกิดการทำลายพันธะ C-O, C-N และ C-C bonds(Chung et al., 2013 , Yusupov et al., 2012 , Yusupov et al., 2013).



ภาพที่ 4.5 พื้นผิวตอบสนองของ Samonella จากปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซ ตัวพา(Ar) และเวลา(Time)



ภาพที่ 4.6 เส้นแสดงรูปทรงของ *Samonella* จากปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา(Ar) และเวลา(Time)

จากภาพที่ 4.5 และ 4.6 แสดงภาพพื้นผิวตอบสนองของอัตราการเหลือรอดของเชื้อจุลินทรีย์ *Samonella* ตามวัตถุประสงค์ที่ 3 จากผลของปัจจัยความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา(Ar) และเวลา(Time) จึงสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา(Ar) และเวลา(Time) ต่ออัตราการเหลือรอดของเชื้อ *Samonella* เป็นสมการการถดถอยได้ดังแสดงในสมการ (3)

Samonella = 1.214 - 0.0890 KV – 2.61 Ar - 0.0322 Time + 0.00716 KV*KV + 7.20 Ar*Ar
+ 0.00301 Time*Time - 0.308 KV*Ar - 0.00042 KV*Time - 0.028 Ar*Time ..... (3)

R^2 = 93.62

จากสมการที่ (3) ค่าสัมประสิทธิ์ของก๊าซตัวพา(Ar) ตามวัตถุประสงค์ที่ 3 มีค่ามากที่สุด คือ - 2.61 แสดงให้เห็นว่าก๊าซอาร์กอนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดอัตราการเหลือรอดของเชื้อ *Samonella* มากที่สุด ส่วนปัจจัยจากความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการลดอัตราการเหลือรอดของเชื้อ *Samonella* มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ - 0.0890 ความสัมพันธ์ของปัจจัยร่วมระหว่างอัตราการไหลของก๊าซตัวพา (Ar) และความเข้มสนามไฟฟ้า (KV) เป็นปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่ออัตราการลดลงของเชื้อ Samonella คือมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -0.308 และอัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนก็มีผลอย่างมากต่ออัตราการเหลือรอดของเชื้อ *E.coli* (ค่าสัมประสิทธิ์ Ar*Ar เท่ากับ 7.20)

สภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการกำหนดเงื่อนไขการทดลองโดยการใช้โปรแกรม minitab version 17 พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า 8 KV เวลาในสนามไฟฟ้า 7.2727 นาที อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 0.3 mbar ซึ่งสามารถทำให้อัตราการเหลือรอดของ *Samonella* ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.0

ผลของกระบวนการโกลดิสชาร์จต่อผลิตภัณฑ์เนย

นำผลิตภัณฑ์เนยมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีตามวัตถุประสงค์ที่ 1 คือ ปริมาณไขมัน ความชื้นและเถ้า คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ค่าสี(L*,a*,b*) ของเนื้อสัมผัส ได้ผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติทางเคมีของเนย

	ค่าทางเคมี
ไขมัน(%)	81.95±3.67
ความชื้น(%)	14.76±1.54
เถ้า(%)	0.04±0.03
L*	75.27±1.55
a*	-0.57±0.06
b*	14.37±0.47

จากตารางที่ 4.5 เนยก่อนเข้ากระบวนการโกลดิสชาร์จมีคุณสมบัติทางเคมี ดังนี้ ปริมาณไขมันร้อยละ 81.95±3.67 ความชื้นร้อยละ 14.76±1.54 และเถ้าร้อยละ 0.04±0.03 คุณสมบัติทางกายภาพ ค่าสี L* เท่ากับ 75.27±1.55 a* เท่ากับ -0.57±0.06 และ b* เท่ากับ 14.37±0.47 หลังจากนั้นนำเนยเข้ากระบวนการโกลดิสชาร์จตามสภาวะที่มีการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken ด้วยโปรแกรม Minitab คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า 0-8 KV , อัตราการไหลของก๊าซตัวพา 0 - 0.030 mbar และเวลาในระบบโกลดิสชาร์จ 2 - 8 นาที ได้จำนวน 15 สิ่งทดลอง โดยมีสภาวะการทดลองตามตารางที่ 4.6 และได้คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเนยที่ผ่านกระบวนการโกลดิสชาร์จในสภาวะต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.6

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ปริมาณไขมันและเถ้าของเนยที่ผ่านกระบวนการโกลดิสชาร์จจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเข้ากระบวนการโกลดิสชาร์จ ทั้งนี้ความแตกต่างของค่าทางเคมีที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเนยเป็นปัจจัยสำคัญ ส่วนคุณสมบัติทางเคมี คือ ความชื้น จะมีการลดลงเพียงเล็กน้อยจากการผ่านของก๊าซตัวพา(อาร์กอน) เนื่องจากการสูญเสียความชื้นที่พื้นผิวเนย ซึ่งมีผลน้อยมากต่อความชื้นโดยรวมของเนย สอดคล้องกับคุณสมบัติทางกายภาพและลักษณะปรากฏทางกายภาพของเนย คือ ค่าสี (L*,a*,b*)(L*=73.25-73.75, a*=-0.38-(–0.49), b*=14.01-14.22) ของเนยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อเทียบกับคุณสมบัติของเนยก่อนเข้ากระบวนการโกลดิสชาร์จ

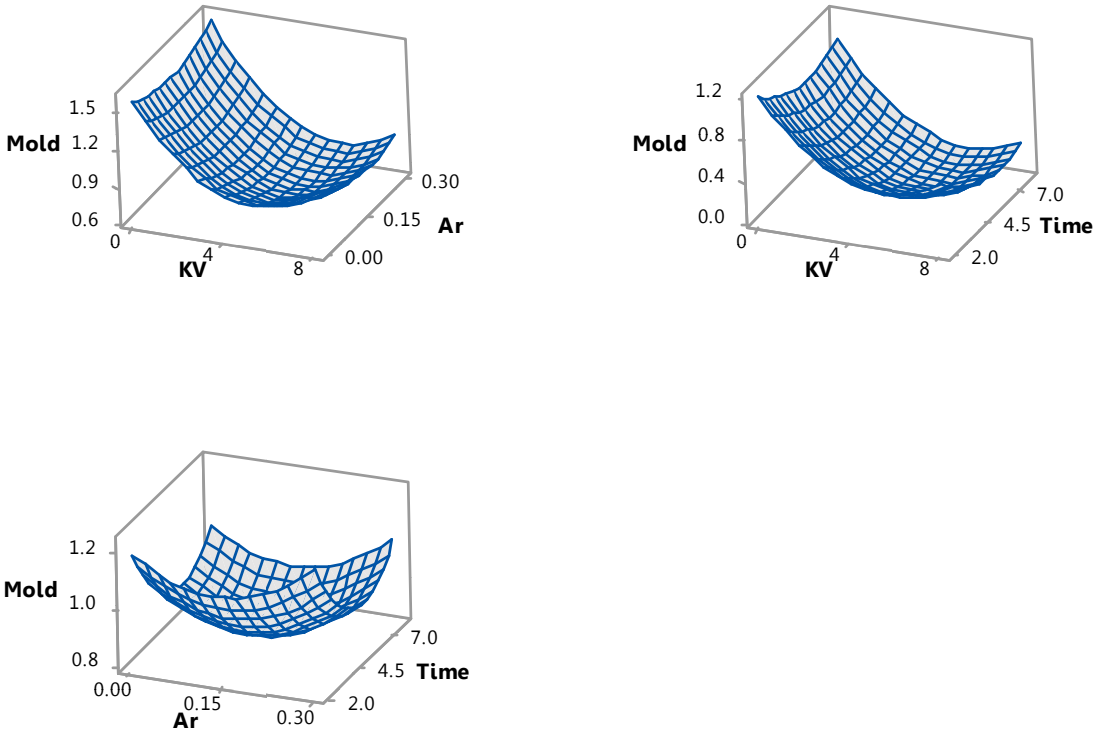
ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์เนยที่ผ่านกระบวนการโกลดิสชาร์จ

Run order	Std Order	Voltage (KV)	Ar (mbar)	เวลา (นาที)	ไขมัน (%)	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	L*	a*	b*
1	15	4	0.15	5	83.9253	13.8991	0.0257	73.25	-0.42	14.02
2	6	8	0.15	2	84.1516	13.6453	0.0242	73.56	-0.44	14.22
3	11	4	0.00	8	82.6610	14.0631	0.347	73.61	-0.41	14.06
4	7	0	0.15	8	84.7455	14.0814	0.0144	73.58	-0.38	14.04
5	3	0	0.30	5	84.5199	13.9399	0.0147	73.52	-0.49	14.01
6	8	8	0.15	8	84.6168	14.0403	0.0196	73.50	-0.46	14.22
7	14	4	0.15	5	84.1892	13.7370	0.0242	73.69	-0.46	14.15
8	1	0	0.00	5	84.1230	13.9771	0.0248	73.55	-0.47	14.17
9	4	8	0.30	5	83.9668	14.0611	0.0244	73.43	-0.39	14.19
10	5	0	0.15	2	82.6756	13.1136	0.0292	73.60	-0.40	14.16
11	10	4	0.30	2	84.7719	13.7412	0.0240	73.56	-0.49	14.16
12	9	4	0.00	2	84.8481	13.2012	0.0347	73.53	-0.49	14.21
13	12	4	0.30	8	84.5365	13.9496	0.0147	73.39	-0.42	14.08
14	13	4	0.15	5	84.5116	13.9274	0.0196	73.75	-0.44	14.16
15	2	8	0.00	5	84.7071	13.8702	0.0242	73.46	-0.49	14.03

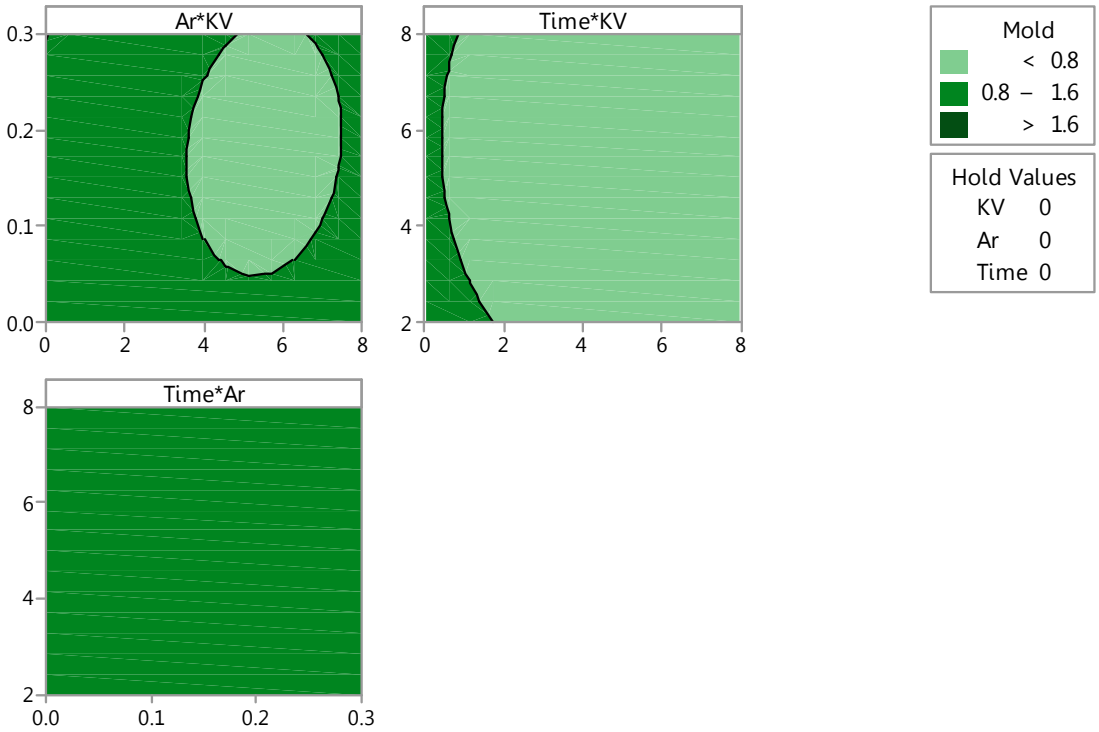
ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เนยที่ผ่านกระบวนการโกลดิสชาร์จ (N/N_0)

Run order	Std Order	Voltage (KV)	Ar (mbar)	เวลา (นาที)	รา
1	15	4	0.15	5	0.05
2	6	8	0.15	2	0.40
3	11	4	0.00	8	0.14
4	7	0	0.15	8	0.95
5	3	0	0.30	5	0.96
6	8	8	0.15	8	0.20
7	14	4	0.15	5	0.05
8	1	0	0.00	5	1.00
9	4	8	0.30	5	0.04
10	5	0	0.15	2	0.98
11	10	4	0.30	2	0.56
12	9	4	0.00	2	0.53
13	12	4	0.30	8	0.18
14	13	4	0.15	5	0.03
15	2	8	0.00	5	0.29

จากตารางที่ 4.7 พบว่า อัตราการเหลือรอดของเชื้อราในเนยที่ผ่านกระบวนการโกลดิสชาร์จจะมีค่าลดลง โดยมีปัจจัยจากสนามไฟฟ้าและก๊าซตัวพา(Ar) เป็นสำคัญ หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab version 17



ภาพที่ 4.7 พื้นผิวตอบสนองของรา จากปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา (Ar) และเวลา(Time)



ภาพที่ 4.8 เส้นแสดงรูปทรงของรา จากปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า(KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา (Ar) และเวลา(Time)

จากภาพที่ 4.7 และ 4.8 แสดงภาพพื้นผิวตอบสนองของอัตราการเหลือรอดของเชื้อราตามวัตถุประสงค์ที่ 2 จากผลของปัจจัยความเข้มสนามไฟฟ้า (KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา (Ar) และเวลา (Time) จึงสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของความเข้มสนามไฟฟ้า (KV) อัตราการไหลก๊าซตัวพา (Ar) และเวลา(Time) ต่ออัตราการเหลือรอดของเชื้อรา เป็นสมการการถดถอยได้ดังแสดงในสมการ (4)

$$\text{Mold} = 1.572 - 0.264\,KV - 1.52\,Ar - 0.2334\,Time + 0.02529\,KV*KV + 5.54\,Ar*Ar + 0.02051\,Time*Time - 0.0875\,KV*Ar - 0.00354\,KV*Time + 0.006\,Ar*Time \quad \ldots\ldots (4)$$

$$R^2 = 96.38$$

จากสมการที่ (4) ค่าสัมประสิทธิ์ของก๊าซตัวพา(Ar) ของเชื้อราตามวัตถุประสงค์ที่ 2 มีค่ามากที่สุด คือ -1.52 แสดงให้เห็นว่าก๊าซอาร์กอนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดอัตราการเหลือรอดของเชื้อรามากที่สุด ส่วนปัจจัยจากความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการลดอัตราการเหลือรอดของเชื้อรา มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ - 0.264 ความสัมพันธ์ของปัจจัยร่วมระหว่างอัตราการไหลของก๊าซตัวพา (Ar) และความเข้มสนามไฟฟ้า (KV) เป็นปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการเหลือรอดของเชื้อรา คือมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.0875 และอัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนก็มีผลอย่างมากต่ออัตราการเหลือรอดของเชื้อ *E.coli* (ค่าสัมประสิทธิ์ Ar*Ar เท่ากับ 5.54)

สภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการกำหนดเงื่อนไขการทดลองโดยการใช้โปรแกรม minitab version 17 พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า 5.9798 KV เวลาในสนามไฟฟ้า 6.1818 นาที อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 0.1818 mbar ซึ่งสามารถทำให้อัตราการเหลือรอดของเชื้อราต่ำที่สุด เท่ากับ 0.0751